



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 42 09 933 A 1**

51 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**B 23 K 26/08**  
B 44 C 1/22

21 Aktenzeichen: P 42 09 933.1  
22 Anmeldetag: 27. 3. 92  
43 Offenlegungstag: 30. 9. 93

DE 42 09 933 A 1

71 Anmelder:  
FOBA Formenbau GmbH, 5880 Lüdenscheid, DE

74 Vertreter:  
Ostriga, H., Dipl.-Ing.; Sonnet, B., Dipl.-Ing.,  
Pat.-Anwälte, 42275 Wuppertal

72 Erfinder:  
Aberle, Hanns-Dieter, Dr., 8416 Hemau, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur partiellen Veränderung von Oberflächen metallischer oder nichtmetallischer Körper mit einem Nd:YAG-Laser

57 Bei einem Verfahren zur partiellen Veränderung von Oberflächen metallischer oder nichtmetallischer Körper mit einem gütegeschalteten kontinuierlich angeregten Nd:YAG-Laser wird der Laserstrahl innerhalb eines den zu verändernden Oberflächenteil eingrenzenden Umrisses entlang Rasterlinien eines Rasterfeldes bildender Bezugslinien geführt. Anschließend wird das gesamte Rasterfeld unter Beibehaltung der Relativlage des Umrisses mindestens einmal um einen bestimmten Betrag versetzt und der Oberflächenteil entlang den Rasterlinien des Rasterfeldes erneut insgesamt mit dem Laserstrahl abgefahren. Bei jedem Abfahren mit dem Laserstrahl werden die Einwirkdauer und die Höhe des Energieinhalts der die Körper-Oberfläche einschußartig beaufschlagenden Laserpulse derart begrenzt, daß unter Minimierung einer Plasmabildung eine Verdampfung des Werkstoffes erfolgt.  
Das Verfahren gestattet große Werkstoff-Abtragstiefen.

DE 42 09 933 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur partiellen Veränderung von Oberflächen metallischer oder nicht-metallischer Körper mit einem gütegeschalteten kontinuierlich angeregten Nd:YAG-Laser entsprechend dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Vorrichtungen, die mit ähnlichen Verfahren arbeiten können, sind beispielsweise durch die DE-OS 39 39 866 bekanntgeworden.

Die bekannten Nd:YAG-Laser werden vornehmlich für Lasergravur- bzw. Laserbeschriftungsverfahren, jedenfalls für solche Verfahren zur partiellen Veränderung von Oberflächen verwandt, mit denen nur Einbrenntiefen von maximal 20 µm erzielt werden. Die Begrenzung dieser Einbrenn- bzw. Eindringtiefe ist im Zusammenhang mit metallenen Werkstücken möglicherweise dadurch zu erklären, daß bei der Laserstrahl-Bearbeitung entstandene Oxydschichten eine tiefer reichende thermische Einwirkung des Laserstrahls auf den darunter befindlichen Werkstoffbereich verhindern. Versuche mit aus thermoplastischen Kunststoffen bestehenden Werkstücken ergaben bei Anwendung des bekannten Verfahrens — zumal bei längerer Wirkungs-dauer — nur ein ungezieltes Aufschmelzen bzw. Durchbrennen des Kunststoffes.

Die Führung des Laserstrahls mittels eines elektronischen Rechners beinhaltenden zum Beispiel digitalen Ablenkungssystems geschieht bei bekannten Verfahren häufig so, daß der Laserstrahl "gewobbelt", d. h. in kleinen fortlaufenden, einander überlappenden kreisenden Bewegungen geführt wird.

Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe besteht darin, das bekannte Verfahren entsprechend dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 so zu verändern, daß nicht nur die vorbeschriebenen geringen Eindringtiefen zur Herstellung von Beschriftungen, sondern darüber hinaus wesentlich höhere Eindringtiefen erzielt werden können, welche eine im weitesten Sinne tiefe, etwa reliefartige, Abtragung der Werkstückoberfläche gestatten.

Entsprechend der Erfindung ist diese Aufgabe dadurch gelöst worden, daß der Laserstrahl innerhalb eines den zu verändernden Oberflächenteil eingrenzenden Umrisses entlang Rasterlinien eines Rasterfeldes bildender Bezugslinien geführt wird, worauf anschließend das gesamte Rasterfeld unter Beibehaltung der Relativlage des Umrisses mindestens einmal um einen bestimmten Betrag versetzt und der Oberflächenteil entlang den Rasterlinien des Rasterfeldes erneut insgesamt mit dem Laserstrahl abgefahren wird, wobei bei jedem Abfahren die Einwirkdauer und die Höhe des Energieinhalts der die Körper-Oberfläche einschußartig beaufschlagenden Laserpulse derart begrenzt werden, daß unter Minimierung einer Plasmabildung eine Verdampfung des Werkstoffes bewirkt wird.

Entsprechend der Erfindung wird der Laserstrahl innerhalb eines Umrisses geführt, welcher den zu verändernden Oberflächenteil eingrenzt. Hierbei wird der Laserstrahl so geführt, daß er den gesamten Oberflächenteil entlang der Rasterlinien eines Rasterfeldes gleichförmig bearbeitet. Sobald der Laserstrahl die Rasterlinien des Rasterfeldes insgesamt abgefahren hat, wird das die Führung des Laserstrahls bestimmende, durch eine Rechnersteuerung erzeugte Rasterfeld um einen bestimmten Betrag versetzt. Hier wird allerdings der Umriß, welcher den zu verändernden Oberflächenteil bestimmt, in seiner örtlichen Relativlage beibehalten.

Nachdem der Versatz um einen bestimmten Betrag

erfolgt ist, fährt der Laserstrahl die Rasterlinien des Rasterfeldes wieder insgesamt ab, wodurch die Bearbeitungsdichte auf dem zu verändernden Oberflächenteil vergrößert wird. Falls erforderlich, kann ein Versatz, gegebenenfalls mit demselben bestimmten Betrag, noch einmal oder mehrmals nacheinander erfolgen, jedenfalls so lange, bis ein genügender Werkstoffabtrag erreicht ist.

Durch den erfindungsgemäßen Versatz wird erreicht, daß möglichst wenige Stellen des zu verändernden Oberflächenteils mehrfach durch den Laserstrahl beaufschlagt werden, insbesondere wird eine Überlagerung von Kreuzungsstellen vermieden. Beim Abfahren des Rasterfeldes mit dem Laserstrahl muß darauf geachtet werden, daß die Einwirkdauer und die Höhe des Energieinhalts der die Körper-Oberfläche einschußartig beaufschlagenden Laserpulse derart begrenzt werden, daß bei Minimierung einer Plasmabildung im wesentlichen nur eine Verdampfung des Werkstoffes eintritt.

Mit den erfindungsgemäßen Maßnahmen ist es insgesamt möglich geworden, beispielsweise bei einem Stahl des Typs 1.2311 eine Abtragstiefe in der Größenordnung von Millimetern zu erzielen. Diese bislang nicht erzielte vorteilhafte große Abtragstiefe läßt sich wohl nur durch die eigenartige erfindungsgemäße Führung des Laserstrahls sowie dadurch erklären, daß praktisch bei Vermeidung einer Plasmabildung nach Möglichkeit nur eine Verdampfung des Werkstoffes erfolgt. Dadurch, daß der Werkstoff unter Einwirkung des Laserstrahls unmittelbar verdampft und abgesaugt wird, kann bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens eine die Eindringtiefe des Laserstrahls behindernde Oxydbildung offenbar weitestgehend vermieden werden.

Auch erscheint es wichtig, durch Begrenzung des Energieinhalts des nach Art von einzelnen Einschüssen pulsformig auf den Werkstoff aufprallenden Laserstrahls eine Plasmabildung weitestgehend minimieren zu können, um auf diese Weise eine die Eindringtiefe des Laserstrahls ansonsten verringemde Absorption zu vermeiden.

Bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Laserstrahl mit Hilfe eines akustooptischen Modulators zweckmäßig mit einer Frequenz von ca. 10 kHz gesteuert. Das erfindungsgemäße Rasterfeld ist demnach aus Rasterlinien-Längen zusammengesetzt, welche jeweils aus 10 000 pro Sekunde aufeinanderfolgenden, linienartig hintereinander angeordneten, Laser-Einschüssen bestehen. Die mittlere Strahlungsleistung des Lasers beträgt hierbei etwa 50 W.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird der Versatz des Rasterfeldes dadurch erzeugt, daß dieses um einen bestimmten Umfangswinkel, dem Drehwinkel, versetzt wird.

Entsprechend anderen Erfindungsmerkmalen wird das Rasterfeld um eine bestimmte Strecke, gegebenenfalls zusätzlich zu einer Drehung, translatorisch versetzt.

Als günstig hat sich in weiterer Ausgestaltung der Erfindung herausgestellt, daß das Rasterfeld eine netzartige Linienstruktur aufweist.

Auch ist es entsprechend anderen Erfindungsmerkmalen möglich, die Rasterlinien parallel zueinander verlaufen zu lassen, um hierdurch insgesamt ein Rasterfeld zu bilden. Zweckmäßig sind die Rasterlinien gerade.

Der vorbestimmte Versatz, wie Drehwinkel oder translatorischer Versatz, wird in weiterer Ausgestaltung der Erfindung in Abhängigkeit von dem zu bearbeiten-

den Werkstoff ausgewählt. Das gilt auch für den Parallelabstand der Rasterlinien voneinander.

Bei der Bearbeitung des vorerwähnten Stahls des Typs 1.2311 kann beispielsweise der Drehwinkel  $15^\circ$  betragen, während der Parallelabstand der Rasterlinien voneinander ca.  $50\text{ }\mu\text{m}$  beträgt.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird nun anhand beigefügter Zeichnungen erläutert, hierbei zeigt

**Fig. 1** in mehr schematischer Weise den Aufbau einer zur Ausübung des erfindungsgemäßen Verfahrens verwendeten Laservorrichtung,

**Fig. 2** die Draufsicht auf ein Werkstück sowie schließlich die

**Fig. 3—5** Detailvergrößerungen im wesentlichen entsprechend der mit III, IV und V bezeichneten Einkreisung in **Fig. 2**.

Das Herzstück der Laservorrichtung 10 in **Fig. 1** besteht aus einem Nd:YAG-Stab 11.

Parallel zum Nd:YAG-Stab 11 ist eine mit Gleichstrom betriebene Krypton-Bogenlampe angeordnet, deren Emissionsspektrum zur Anregung der optischen Zustände im Nd:YAG-Stab geeignet ist.

Das von der Krypton-Bogenlampe erzeugte Licht gelangt in den Nd:YAG-Stab. Dort wird gemeinsam mit dem optischen Resonator, bestehend aus Endspiegel 13 und Auskoppelspiegel 14, der Laserstrahl L erzeugt.

Zwischen dem Nd:YAG-Stab 12 und dem Auskoppelspiegel 14 ist ein akustooptischer Modulator 15 eingebaut, der etwa wie folgt positioniert:

In einem Glasblock wird durch ein Piezoelement eine Ultraschallwelle eingekoppelt, die in dem Glasblock ein optisches Gitter erzeugt. Das Ein- und Ausschalten des Gitters wird von einem insgesamt mit 17 bezeichneten Steuerteil veranlaßt, von welchem elektrische Steuerleitungen 16 zum akustooptischen Modulator 15 führen.

Das Ein- und Ausschalten des optischen Gitters des akustooptischen Modulators 15 hat das Ein- und Ausschalten des Laserstrahls L zur Folge. Durch dieses Ein- und Ausschalten, im vorliegenden Fall mit einer Schaltfrequenz von etwa 5 kHz, entstehen in Verbindung mit dem Nd:YAG Stab Energiespitzen besonders großer Leistung, was insgesamt mit dem Begriff "Technik der Güteschaltung", umschrieben werden kann.

Mittels einer Streulinse 18 und einer Sammellinse 19 erfolgt sodann eine Aufweitung des Laserstrahls L. Der aufgeweitete Laserstrahl L wird auf einen ersten Drehspiegel 20 gegeben und von diesem auf einen zweiten Drehspiegel 21 reflektiert. Die Drehachsen x, y der beiden Drehspiegel 20, 21 verlaufen orthogonal zueinander. Die Drehachse y des Drehspiegels 20 verläuft z. B. lotrecht und die Drehachse x des Drehspiegels 21 horizontal.

Beide Drehspiegel 20, 21, werden durch je einen sogenannten Galvanometerscanner 22, 23 entsprechend den Dreh-Doppelpfeilen v, z angetrieben. Die Galvanometerscanner 22, 23 sind über elektrische Steuerleitungen 24, 25 mit dem Steuerteil 17 verbunden. Die Galvanometerscanner gestatten es, Drehungen mit definierten Drehwinkeln zu erzeugen. Typische Werte hierbei sind beispielsweise  $\pm 8^\circ$  Winkelgrad.

Zu ergänzen ist noch, daß auch die Krypton-Bogenlampe 12, die sogenannte "Pumplampe", über zwei elektrische Leitungen 26, 27 durch das Steuergerät 17 versorgt wird.

Bevor der durchgehend mit L bezeichnete Laserstrahl auf das Werkstück W gelangt, mit dem er wechselwirken soll, wird er durch ein Fokussierobjektiv hindurchgeleitet, welches ein Planfeldobjektiv 28 ist, um

auf dem Werkstück W eine hohe Energiedichte erzeugen zu können.

Das in **Fig. 2** gezeigte Werkstück W bietet dem Betrachter seine Gravurfläche G dar. Die Gravurfläche G soll zu dem zentralen Bestandteil eines Werkzeugeinsatzes gehören, welcher bei der artikelbildenden Formgebung innerhalb einer Werkzeugform zur Herstellung von Kunststoffspritzgußartikeln verwandt wird. Die Gravurfläche G enthält einen veränderten bzw. abgetragenen Bereich A und einen erhabenen Bereich B. Die Kontur des erhabenen Bereichs B besitzt Pfeilform.

Aus **Fig. 2** ist ein netzartiges Rasterfeld N zu erkennen, welches — jeweils anders orientiert — auch in vergrößerten Detaildarstellungen entsprechend den **Fig. 3—5** teilweise zu sehen ist.

Das Rasterfeld N, welches gewissermaßen auf die Gravurfläche G projiziert ist, soll verdeutlichen, wie der Laserstrahl L geführt wird, um den abgetragenen Bereich A zu erzeugen.

Der abgetragene Bereich A ist innen von einer Umrißlinie U1, die der Kontur des Pfeiles entspricht und außen von einer Umrißlinie U2 begrenzt.

Die Umrißlinien U1 und U2 stellen praktisch eine Innenbegrenzung und eine Außenbegrenzung dar, die der Laserstrahl auf dem Werkstück W nicht überschreitet. Die Umrißlinien U1 und U2 des Rasterfeldes N sind Ergebnis der Laserstrahl-Steuerung, für welche ein im Steuergerät 17 enthaltener programmierbarer Rechner bestimmend ist.

Das Rasterfeld N setzt sich aus geraden Rasterlinien R1, R2 und R3 zusammen. Eine Anzahl von Rasterlinien R1, eine weitere Anzahl von Rasterlinien R2 und eine weitere Anzahl von Rasterlinien R3 verlaufen jeweils parallel mit einem Parallelabstand p zueinander.

Die Rasterlinien R1 und R2 schließen — ebenso wie die Rasterlinien R2 und R3 — jeweils einen Winkel von  $60^\circ$  ein, so daß sich, wie aus **Fig. 3** zu sehen, kleine gleichseitige Dreiecke aus den Rasterlinien R1, R2 und R3 ergeben.

In einer ersten Phase (**Fig. 3**) wird nun der Laserstrahl durch die vom Rechner des Steuergerätes 17 initiierte Bewegung der Drehspiegel 20, 21 so umgelenkt und unter Beachtung der Umrisse U1 und U2 so geführt, daß eine Bearbeitung der Oberfläche des Werkstückes W entlang den Linien des Rasterfeldes N erfolgt.

Sobald das sich über die gesamte Fläche A erstreckende Rasterfeld N entsprechend der in **Fig. 3** dargestellten örtlichen Lage abgearbeitet ist, wird das Rasterfeld N mit einem Drehwinkel von  $150^\circ$  nach links gedreht und zugleich um einen gewissen Betrag translatorisch verschoben, um zu vermeiden, daß die Rasterlinien-Kreuzungspunkte K gemäß **Fig. 3** mit denen gemäß **Fig. 4** zusammenfallen.

Entlang dem versetzten Rasterfeld N gemäß **Fig. 4** wird sodann die gesamte Fläche A, begrenzt von den Umrisse U1 und U2, erneut insgesamt abgearbeitet, was anschließend nach einer weiteren Drehung nach links um  $150^\circ$  und einer weiteren analogen translatorischen Verschiebung zusätzlich noch ein weiteres Mal erfolgt, wie in **Fig. 5** dargestellt.

Jede Rasterlinie R1, R2 und R3 setzt sich aus einer Vielzahl von kleinen pulsartigen Laserstrahl-Einschüssen zusammen, von denen 10 000/s erfolgen. Hierbei wird der Werkstoff, im vorliegenden Fall Stahl des Typs 1.2311, verdampft und abgesaugt, so daß insgesamt die abgetragene Fläche A entsteht, die gegenüber der erhabenen Fläche B ein Höhendifferenz in der Größenordnung von Millimetern aufweist.

Während des Versatzes (Drehung und translatorische Verschiebung) des Rasterfeldes N gemäß den Darstellungen von Fig. 3 nach Fig. 4 und von Fig. 4 nach Fig. 5 bleibt die örtliche Lage der Umrisse U1 und U2 unverändert.

dadurch gekennzeichnet, daß bei der Bearbeitung von Stahl des Typs 1.2311 der Parallelabstand (p) der Rasterlinien (R1, R2, R3) ca. 50 µm beträgt.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur partiellen Veränderung von Oberflächen metallischer oder nichtmetallischer Körper mit einem gütegeschalteten kontinuierlich angeregten Nd:YAG-Laser, mit gegebenenfalls in den Strahlengang eingegliedelter Strahlaufweitung, mit einer mittels eines Rechners gesteuerten, drehbar angetriebene Ablenkspiegel aufweisenden Strahlablenkung und mit einem Planfeldobjektiv zur Fokussierung des Laserstrahls, welcher entlang mindestens einer durch den Rechner vorgegebenen Bezugslinie über die zu verändernde Oberfläche hinweg geführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Laserstrahl (L) innerhalb eines den zu verändernden Oberflächenteil (A) eingrenzenden Umrisses (U1, U2) entlang Rasterlinien (R1, R2, R3) eines Rasterfeldes (N) bildender Bezugslinien geführt wird, worauf anschließend das gesamte Rasterfeld (N) unter Beibehaltung der Relativlage des Umrisses (U1, U2) mindestens einmal um einen bestimmten Betrag versetzt und der Oberflächenteil (A) entlang den Rasterlinien (R1, R2, R3) des Rasterfeldes (N) erneut insgesamt mit dem Laserstrahl (L) abgefahren wird, wobei bei jedem Abfahren die Einwirkdauer und die Höhe des Energieinhalts der die Körper-Oberfläche einschußartig beaufschlagenden Laserpulse derart begrenzt werden, daß unter Minimierung einer Plasmabildung eine Verdampfung des Werkstoffes bewirkt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Rasterfeld (N) um einen bestimmten Umfangswinkel, dem Drehwinkel, versetzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Rasterfeld (N) um eine bestimmte Strecke, gegebenenfalls zusätzlich zu einer Drehung, translatorisch versetzt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Rasterfeld (N) eine netzartige Struktur aufweist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß Rasterlinien (R1, R2, R3) parallel zueinander verlaufen.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Rasterlinien (R1, R2, R3) gerade sind.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der vorbestimmte Versatz, wie Drehwinkel oder translatorischer Versatz, in Abhängigkeit von dem zu bearbeitenden Werkstoff ausgewählt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Parallelabstand (p) der Rasterlinien (R1, R2, R3) voneinander in Abhängigkeit von dem zu behandelnden Werkstoff ausgewählt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehwinkel bei der Bearbeitung von Stahl des Typs 1.2311 ca. 15° beträgt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,



